



Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

**Estudo de Caso: Análise energética do edifício administrativo em uma
empresa de caldeira a gás e implementação de sistema de geração de
energia renovável**

GUILHERME DE DEUS MACEDO

São Paulo

2023

GUILHERME DE DEUS MACEDO

**Estudo de Caso: Análise energética do edifício administrativo em uma
empresa de caldeira a gás e implementação de sistema de geração de energia
renovável**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade de São Paulo como requisito
parcial para a obtenção do título de
Especialização Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Alberto Hernandez

Área de concentração: Especialização Energias
Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência
Energética.

São Paulo

2023

DEDICATÓRIAS

*Dedicado este trabalho para
Vera Lucia Macedo de Deus, Manoel Geraldo Macedo e Matheus Augusto Macedo*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a PECE, programa de educação continuada Escola Politécnica da USP, por ter dado a oportunidade de realizar o curso, a todos os professores, por todos os ensinamentos e ajuda ao longo do curso, principalmente ao Professor Alberto Hernandez, que aceitou ser meu professor orientador.

Agradecer a toda minha família, principalmente meu pai, Manoel Geraldo minha mãe, Vera Lucia, e meu irmão, Matheus Augusto, pelo apoio dado ao longo do curso, e a todos meus amigos que estiveram ao meu lado.

EPÍGRAFE

“O importante é não parar de questionar, a curiosidade tem sua própria razão de existir.”

Albert Einstein

RESUMO

Este estudo tem como objetivo realizar uma análise energética das instalações de uma fábrica de caldeiras a gás, com foco na análise da infraestrutura do edifício administrativo. Por meio de medições, levantamentos teóricos de gasto energético, foi possível obter o consumo de energia desse edifício administrativo, definir a distribuição do consumo dos usos finais, e potenciais ações para correção e melhorias com o objetivo de reduzir o consumo de energia da edificação em análise.

A metodologia usada para avaliação do consumo de energia na edificação foi uma combinação de medições de consumo de energia com levantamento de dados dos diversos usos finais existentes na edificação.

Além da avaliação do consumo de energia dos usos finais da edificação, foi também realizada a análise de viabilidade econômica de potenciais estratégias para redução do consumo de energia.

ABSTRACT

This study aims to conduct an energy analysis of the facilities of a gas boiler factory, focusing on the analysis of the infrastructure of the administrative building. Through measurements and theoretical assessments of energy expenditure, it was possible to determine the energy consumption of this administrative building, define the distribution of consumption for end uses, and identify potential actions for correction and improvements with the goal of reducing the energy consumption of the building.

The methodology used for assessing energy consumption in the building involved a combination of energy consumption measurements and data collection for several end uses existing in the building.

In addition to evaluating the energy consumption of the building's end uses, an economic feasibility analysis of potential strategies to reduce energy consumption was also conducted.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Participação das fontes na indústria	16
Figura 2.2 – Etapas do diagnóstico energético.....	20
Figura 3.1 - Planta da Fábrica	29
Figura 3.2 - Unidade condensadora do VRV.....	31
Figura 3.3 - Unidades evaporadoras, no escritório	32
Figura 3.4 - Diferença entre utilizar e não utilizar brise	34
Figura 3.5 - Envoltória do Prédio Administrativo	35
Figura 3.6 - Instrumento de Medição.....	39
Figura 3.7 - Perfil de um dia frio no administrativo	40
Figura 3.8 - Perfil de um dia quente no administrativo	41
Figura 3.9 - Medição do telhado pelo google Earth	43
Figura 3.10 – Evolução da tarifa de energia elétrica com tributos em Reais ao longo do tempo	48
Figura 3.11 - Consumo de energia ao longo do tempo	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - VPL, TIR e Payback	23
Tabela 2.2 - Mobilidade Tarifaria por Grupo.....	25
Tabela 3.1 - Análise do sistema de iluminação	36
Tabela 3.2 – Levantamento do consumo de energia dos equipamentos elétricos do setor administrativo.....	37
Tabela 3.3 - Ar-condicionado de todo Administrativo	38
Tabela 3.4 - Irradiação Solar no local da fábrica	42
Tabela 3.5 - Custos de implementação de placa fotovoltaica	42
Tabela 3.6 - Potência e módulo fotovoltaicos.....	45
Tabela 3.7 - Cálculo de retorno financeiro pela troca de lâmpada.....	49
Tabela 3.8 - Cálculo de retorno financeiro para um sistema fotovoltaico.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

VRV - Volume de Refrigerante Variável

MPPT - *Maximum Power Point Tracking* (Rastreamento de ponto de potência máxima)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	UTILIZAÇÃO DE ENERGIA NO MUNDO	16
2.2	MEIO AMBIENTE.....	19
2.3	PONTO IMPORTANTES DE UM DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	20
2.4	INVESTIMENTO.....	22
2.5	MERCADO LIVRE DE ENERGIA	24
2.6	EQUIPAMENTOS.....	26
2.7	FERRAMENTAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA	27
3	DESENVOLVIMENTO – ESTUDO DE CASO	29
3.1	UNIDADE CONSUMIDORA	30
3.1.1	SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.....	30
3.1.2	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	33
3.1.3	ENVOLTÓRIA DO EDIFÍCIO	34
3.1.4	ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA	36
3.2	UTILIZAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL.....	42
3.3	VIABILIDADE ECONÔMICA	45
3.3.1	PAYBACK.....	45
3.3.2	VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	46
3.3.3	TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)	47
3.3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	48
4	CONCLUSÃO	52
5	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

A busca incessante por maior eficiência energética tem se intensificado ao longo do tempo, à medida que a consciência global sobre a importância da sustentabilidade e da redução do consumo de energia cresce. Este movimento desempenha um papel vital na construção de um mundo mais equilibrado e próspero.

A utilização inteligente dos recursos energéticos gera uma série de benefícios multifacetados, particularmente no cenário empresarial. A redução dos custos operacionais é apenas uma das muitas vantagens, tornando as empresas mais competitivas em um mercado em constante evolução. Investir em equipamentos de alta eficiência energética é uma estratégia sábia, mas o verdadeiro segredo do sucesso reside na coleta de dados precisos por meio de medições minuciosas. Essa análise detalhada permite entender onde e como a energia está sendo usada, identificando oportunidades de melhoria que podem ser exploradas.

No setor industrial, a eficiência energética tem se tornado uma pauta cada vez mais proeminente. Grandes empresas reconhecem que essas melhorias não apenas contribuem para um futuro sustentável, mas também impulsionam seu próprio crescimento econômico. Isso se reflete no aumento significativo dos investimentos nessa área, motivando os fabricantes a buscarem constantemente tecnologias inovadoras que estejam alinhadas com as necessidades da indústria.

À medida que avançamos para um mundo mais consciente da importância da eficiência energética, é imperativo continuarmos a promover essa mentalidade e a investir em soluções que não apenas reduzam o consumo de energia, mas também impulsionem o desenvolvimento sustentável, a competitividade empresarial e o crescimento econômico. Essa é a chave para um futuro mais brilhante e equilibrado para todos.

O objetivo é fazer uma análise energética de um edifício administrativo, de uma empresa de caldeira a gás, propor por reduções de gasto de energia, e avaliar suprir a demanda elétrica desse prédio, por meio de placas fotovoltaicas.

O trabalho aqui apresentado se divide em três partes:

Parte 1: Diagnóstico da Infraestrutura

A primeira etapa do diagnóstico se concentrará na avaliação completa da infraestrutura da parte administrativa de uma fábrica de caldeira a gás. Isso inclui um levantamento detalhado do consumo de energia em todas as áreas, identificando os principais pontos que podem ser aprimorados dentre eles:

- Iluminação: Analisar o sistema de iluminação do local, verificando sua eficiência e potencial de economia por meio da adoção de tecnologias mais avançadas, como iluminação LED.
- Equipamentos: Avaliar os equipamentos utilizados, identificando oportunidades para a substituição por modelos mais eficientes do ponto de vista energético.
- Sistemas de Ar-Condicionado: Investigar o sistema de ar-condicionado na parte administrativa, procurando por formas de otimização e de uso mais racional dos equipamentos.
- CPD (Centro de Processamento de Dados): Examinar o CPD para identificar oportunidades de melhorias na gestão energética, incluindo a possibilidade de adoção de sistemas de climatização mais eficientes.
- Sensores e Controles: Investigar a viabilidade de instalação de sensores para monitorar o consumo de energia e otimizar seu uso, possivelmente até sensores de movimento para acionamento de sistemas de iluminação.
- Estrutura Tarifária: Analisar a estrutura tarifária à qual o prédio está sujeito, com o objetivo de otimizar os custos relacionados ao consumo de energia.

Parte 2: Perfil Mensal de Consumo de Energia

Na segunda fase do diagnóstico, será realizado um levantamento detalhado do consumo de energia ao longo de vários meses. Isso permite traçar um perfil preciso de consumo, e fazer uma tentativa de distinguir, o que é utilizado pela fábrica e pela administração.

Parte 3: Estratégias de Redução Energética e Análise Econômica

Após a coleta de dados detalhados e a identificação de possíveis medidas de eficiência energética, os esforços se concentrarão na avaliação dessas medidas com as seguintes atividades:

- **Implementações e Substituições:** Desenvolvimento de um plano para a implementação das medidas de eficiência energética identificadas, incluindo a substituição de equipamentos, a instalação de tecnologias mais eficientes e a integração de sistemas de controle.
- **Cálculos de Redução de Energia:** Serão realizados cálculos que demonstram o potencial de redução de energia, com a implementação das medidas de eficiência energética propostas.
- **Viabilidade Econômica:** Será realizada uma análise de custo-benefício, considerando o investimento necessário em relação aos ganhos esperados em termos de economia de energia.

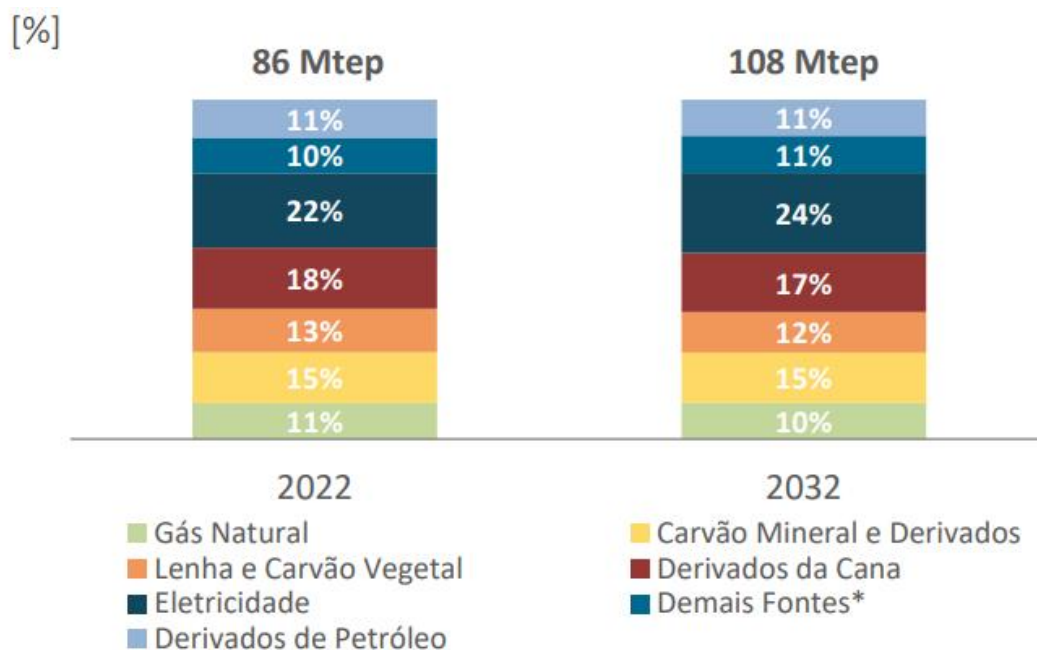
Por fim o estudo energético fornecerá uma visão abrangente das oportunidades de otimização de energia no administrativo de uma fábrica de caldeiras a gás. As medidas de eficiência energética identificadas têm o potencial não apenas de reduzir o consumo de energia, mas também de melhorar a eficiência operacional de determinados equipamentos e reduzir os custos a longo prazo. A implementação dessas medidas não apenas beneficiará o ambiente, mas também terá um impacto positivo nos resultados financeiros da empresa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo (ROCHA e MONTEIRO, 2005) se faz necessário que a empresa tenha um engajamento tanto da parte de diretoria, até sua parte funcional técnico e administrativa, pois se faz necessário um treinamento de todas as pessoas para um consentimento coletivo da utilização de energia. Outro ponto é ter como um procedimento sempre seguir com as manutenções preventivas, para que todos os equipamentos possam funcionar da melhor forma possível, e possivelmente na troca de equipamento por outros mais eficientes, pensando em reduções a longo prazo.

Após esse passo viria o secundário, que é pensando na iluminação, ar comprimido que é consumido, e vapor. Com isso claro que é necessário levantar uma matriz de risco, para saber qual o impacto que essa mudança pode trazer, se o que pode ser alterado no processo da empresa é de fato positivo, e para isso se faz necessário ter metas de redução energética

Segundo (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023) estão sendo tomadas medidas para uso mais consciente da energia e que aconteça de forma mais sustentável. Um plano para otimizar a utilização de energia em diversos setores foi elaborado, que engloba o setor industrial e o setor de edificações(residencial, comercial entre outros), a fim de trazer até 2032 um cenário mais sustentável para o Brasil, com maior utilização de fontes de energia renováveis, como mostrado na Figura 2.1.



*Inclui biodiesel, lixívia, outras renováveis e outras não renováveis.

** inclui óleo diesel, óleo combustível, GLP, querosene e outras secundárias de petróleo.

Figura 2.1 - Participação das fontes na indústria
 Fonte: (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023)

Para que ocorram essas mudanças, foram levantadas algumas premissas, como um exemplo no âmbito da construção civil, reutilização ou reciclagem de resíduos em obra, fazendo com que tenha menor emissão de GEE (gases de efeito estufa), até 2032. Existem outros parâmetros de redução como no transporte, na utilização de água, entre outros pontos pois o objetivo final colocado seria uma redução de 26% do consumo elétrico e para o comércio 17%, que a longo prazo é um grande ganho.

Segundo (LUCIETTO, 2016), um ponto importante para tornar o processo de eficiência energética sustentável é garantir que se atinja reduções de consumo de energia nos diversos setores sem afetar ou até melhorar a produtividade.

2.1 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA NO MUNDO

Com o passar do tempo a utilização de energia no mundo só aumentou, isso acontece ao desenvolvimento desenfreado das indústrias e tecnologias. Segundo o (DE MORAIS, 2015), apesar de se ter começado a utilizar uma quantidade menor de petróleo, ainda estará como

a principal fonte de energia no mundo, o gás natural ainda é muito utilizado em muitos países, tanto para utilização doméstica, ou até em termelétricas, como também o próprio carvão, que é um dos principais insumos da China para produção de energia.

Apesar da grande utilização de recursos não renováveis, as fontes renováveis vem sendo cada vez mais procuradas, e com maiores incentivos a sua produção, como por exemplo o Brasil, como citado pelo (RELLA, 2017) que nos últimos anos teve uma alavancagem na utilização de energia fotovoltaica, principalmente pelos incentivos no setor, o que faz sua implementação mais viável. Também houve procura por fontes como em usinas nucleares, mas com o passar do tempo houve acidentes, como um dos mais famosos que foi Chernobyl, o que fez muitos lugares terem receio desse tipo de energia, e o problema não se limita a possibilidade de acidentes catastróficos, outro problema dessa geração de energia é no seu descarte, o que acaba causando grande impacto para sua utilização.

Na utilização de energia renovável, diversos meios estão disponíveis. A hidrelétrica, que no Brasil representa a principal fonte de energia elétrica, apresenta uma potência instalada considerável. Com o passar dos anos, foram observados desafios em sua implementação, levando a ajustes nas regulamentações. No entanto, ela permanece uma fonte viável de geração de energia. Vale ressaltar que a geração hidrelétrica não está limitada ao Brasil; outros países, como a China, também a utilizam, com destaque para a Barragem das Três Gargantas, a maior usina de geração de energia elétrica no mundo.

Outra fonte de energia renovável em crescimento é a eólica. Enquanto na Europa ela é amplamente adotada, no Brasil está ganhando cada vez mais destaque. A energia eólica pode ser gerada tanto onshore (em terra) quanto offshore (no mar). A diferença fundamental entre ambas reside no local de implementação. Cada uma possui suas vantagens, e ambas são eficientes na produção de energia. Essa forma de geração energética oferece várias vantagens, sobretudo por ser uma fonte renovável, além de possibilitar a construção de parques de grande capacidade em locais propícios, como regiões do Brasil com ventos favoráveis.

No entanto, também existem desvantagens, incluindo investimentos significativos, problemas de ruído no local e possíveis interferências na rota de aves, como morcegos.

A energia solar no Brasil tem crescido muito, mas no mundo já vem sendo utilizado em escala maior, como na Alemanha segundo (JÚNIOR e DE SOUZA, 2020) que muitas casas ao invés de utilizar um teto com telha comum, é trocado por placas solares, mas o grande ponto que o Brasil possui uma radiação solar também privilegiada quando comparado a outros países, mas ainda existe o problema que precisa ter preços de energia que cheguem aos convencionais o que muitas vezes dificulta sua utilização, e dependendo do tamanho do parque exige um alto investimento.

Para implementação dos projetos citados anteriormente, existem algumas dificuldades. No caso da energia solar, uma das questões mais importante está no sombreamento sobre as placas, que reduz a produção de energia. Outro ponto a ser considerado é o local a ser implementado para que tenha níveis de radiação solar adequados. No caso da energia eólica, um dos requisitos mínimos é a velocidade e frequência do vento, que dificulta a sua implantação em áreas urbanas.

Diversos setores demandam quantidades significativas de energia, abrangendo a indústria siderúrgica, petroquímica, papel e outros, a fim de viabilizar a produção de seus bens, não se limitando apenas à energia elétrica, podendo incluir, por exemplo, energia térmica, como a proveniente do vapor. Além disso, no setor comercial, diversas áreas como transporte, escritórios e atacadistas requerem consideráveis suprimentos energéticos, e essa demanda está em constante crescimento, muitas vezes associada a padrões mais elevados de consumo. A esfera residencial não fica de fora, pois à medida que avançam as tecnologias, o consumo de energia residencial aumenta, refletido, por exemplo, no aquecimento de água para banho e na crescente utilização de sistemas de conforto térmico residencial. Portanto, a busca por meios mais sustentáveis é crucial, incluindo a utilização de painéis solares na geração de energia ou aquecimento de água na esfera residencial.

2.2 MEIO AMBIENTE

A utilização dos recursos naturais vem cada vez mais sendo discutida, como nossa forma de vida impacta, o que pode ser feito para diminuir a emissão de gases nocivos, e segundo (MENKES, 2004), existem muitos caminhos para tornar a vida na Terra mais sustentável, e que alguns autores defendem a importância da eficiência energética, mas que para isso é necessário respeitar os padrões como cultural, social, ambiental entre outros, isso só é possível com políticas de incentivo, mudanças culturais, e maior desenvolvimento.

Segundo (MENKES, 2004), para um crescimento mais sustentável da sociedade como todo, é necessário seguir alguns requisitos, como desenvolvimento de parcerias para desenvolvimento de políticas mais sustentáveis entre as empresas de energia, concessionárias e órgãos financeiros, , adequação da produção e uso da energia à cultura de cada região, respeitando possíveis limitações, apoio a instituições que tem grande impacto no mercado para implementar esses projetos. Maior suporte a pesquisa e desenvolvimento na área é fundamental para seu crescimento e utilização mais eficiente da energia .

Para as políticas de sustentabilidade, é fundamental considerar o contexto específico de cada região ou país. Não é viável aplicar uma abordagem uniforme de implementação sustentável em locais em diferentes estágios de desenvolvimento. Embora haja uma necessidade global de promover práticas mais sustentáveis na gestão de recursos naturais, é importante reconhecer que os países desenvolvidos passaram por estágios de desenvolvimento nos quais a utilização de recursos não renováveis era necessária (como mencionado anteriormente, isso abrange vários aspectos, como cultura e recursos financeiros disponíveis, entre outros). Isso não justifica a continuação de práticas não sustentáveis, mas destaca a importância de adotar abordagens diferenciadas e pensar em maneiras de permitir o crescimento econômico de ambos, ao mesmo tempo em que se busca a redução das emissões de gases de efeito estufa e a promoção da sustentabilidade.

Conforme observado por (DEMORAIS,2015), a Agência Internacional de Energia (AIE) prevê um aumento de 36% no consumo de energia até o ano de 2035. Esse cenário representa uma preocupação significativa, uma vez que esse crescimento frequentemente

está associado a fontes não renováveis de energia. Considerando a necessidade premente de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, torna-se imperativo buscar recursos de energia renovável capazes de atender à crescente demanda. Para alcançar esse objetivo, são necessários investimentos substanciais nessa área e incentivos mais robustos para a promoção dessas fontes de energia sustentáveis.

2.3 PONTO IMPORTANTES DE UM DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Segundo o (MME, 2020), somente a indústria gasta cerca de 41% do consumo de energia elétrica no Brasil, e com o passar do tempo essa porcentagem vem aumentando, Portanto, ao efetuar cortes no consumo de energia, mesmo os menores, isso resulta em economias significativas, gerando impactos altamente positivos no setor. Para um diagnóstico correto se faz necessário seguir algumas etapas, conforme a Figura 2.2, seguida de uma descrição de cada etapa:

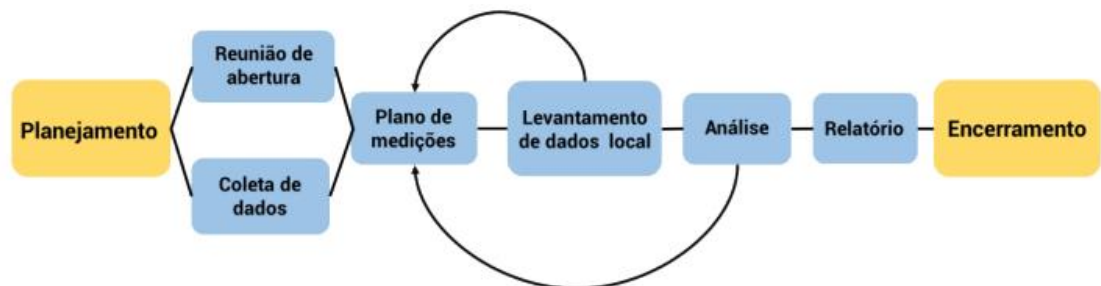


Figura 2.2 – Etapas do diagnóstico energético

Fonte: MME, 2020.

- Planejamento: definição do escopo para o diagnóstico, e líder do projeto.
- Coleta de dados e Reunião de abertura: coleta de todos os dados do local, do que vai ser estudado, para poder fazer possíveis levantamentos, e verificar onde tem um uso de energia que seja de forma expressiva
- Plano de medição: identificação dos pontos de medições a serem feitas, qual tipo de equipamento utilizar e avaliação dos critérios de medição.
- Sistematização de dados: organização dos dados para análise.

- Análise: realização do cálculo e registro de potencial de economia e investimento para ações de baixa complexidade, levantamento de oportunidades com necessidade de análise , levantamento de oportunidades relacionadas a atividades de gestão.
- Relatório: desenvolvimento de relatório apresentando as medições realizadas, pontos críticos a serem avaliados, estratégias sugeridas e potencial de melhoria de eficiência energética.

Além dos aspectos econômicos, há diversos critérios a serem considerados, levando em conta a real necessidade do cliente. O foco do cliente pode variar, desde a melhoria da eficiência energética, redução de emissões de gases, minimização de efluentes ou outros objetivos específicos. Dada a diversidade de abordagens nesse campo, é essencial compreender as metas que o cliente deseja alcançar para conduzir um diagnóstico preciso. Isso é crucial para justificar o interesse em um diagnóstico energético, pois é por meio desse processo que o projeto se torna viável. Além disso, é importante destacar como as melhorias resultantes desse diagnóstico podem ser percebidas externamente, incluindo aprimoramentos na imagem do cliente, redução de riscos, maior confiabilidade do sistema e outros benefícios. Existem aspectos que podem ser abordados em um diagnóstico, como a análise da fatura de energia, que envolve um levantamento dos gastos mensais, bem como medições para determinar o consumo durante os períodos de demanda de pico e fora de pico. Isso é fundamental para identificar oportunidades de melhoria e planejar as ações necessárias para atender às necessidades durante os períodos de maior demanda.

Em um estudo feito por (FERNANDES, 2022), algumas análises foram realizadas como a caracterização da envoltória do edifício, para definir os níveis de transmitância térmica, bem como da absorvância da parede e cobertura para melhorar o desempenho térmico da edificação.

Foram coletados dados relativos ao sistema de iluminação, incluindo a avaliação da eficiência das lâmpadas em uso para determinar se atendem às expectativas ou se requerem substituições. Além disso, foi verificado o aproveitamento da luz natural em espaços específicos e a implementação de sistemas de desligamento automático em áreas onde isso

é viável. O sistema de climatização recebeu considerável atenção devido ao seu elevado consumo de energia, o que impacta consideravelmente no custo de operação da edificação. Durante a avaliação, foram analisados vários aspectos, incluindo a capacidade do sistema de ar-condicionado, para verificar se atendia adequadamente a todas as áreas, e se a eficiência do aparelho estava em conformidade com os padrões estabelecidos pelo INMETRO. Além disso, foi dado destaque ao Coeficiente de Desempenho (COP), com a avaliação do COP atual e a possibilidade de substituição do sistema por um com um COP superior, a fim de atender aos requisitos de eficiência necessários.

De acordo com Zanardo (2016), ao abordar melhorias no desempenho energético de uma empresa, o primeiro passo crucial é promover uma mudança cultural na organização. Isso se justifica pelo fato de que não faz sentido investir em sistemas mais eficientes se as pessoas não utilizarem essas melhorias adequadamente. No entanto, quando as práticas corretas são ensinadas e os funcionários estão engajados nesse processo, as melhorias não se limitam ao momento atual, mas continuam a trazer benefícios no futuro. Após essa etapa, é aconselhável implementar ações subsequentes, como monitorar o consumo de energia, realizar análises dos resultados obtidos e identificar possíveis problemas. Além disso, é importante considerar a implementação de programas de capacitação destinados ao desenvolvimento pessoal de cada funcionário.

2.4 INVESTIMENTO

Segundo (FERNANDES, 2022), a etiquetagem para uma edificação é dividida em diferentes níveis (A que é o mais eficiente, e o E o menos eficiente). Três pontos cruciais são analisados para isso: envoltória, sistema de iluminação, e sistema de condicionamento do ar. Essa etiquetagem pode ser feita tanto durante a construção do edifício, quanto na sua fase de finalização. A etiquetagem pode agregar valor à edificação, logo tornando o empreendimento mais atrativo a investidores.

No momento de considerar um investimento, é essencial levar em consideração diversos aspectos. Por exemplo, avaliar apenas o período de retorno do investimento (payback) é uma abordagem simplista, pois ignora muitos fatores importantes. É

fundamental ponderar questões como a possibilidade de direcionar os recursos financeiros para alternativas de investimento, como renda fixa, e se essa abordagem pode ser mais vantajosa. São considerações como essas que devem ser cuidadosamente analisadas, uma vez que somente assim é possível determinar se o investimento proposto resultará em um retorno financeiro real e vantajoso para o investidor.

Como exemplo, (FERNANDES, 2022) realizou estudo para avaliar a troca de unidades de ar condicionado em que foram feitos os cálculos de payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR), para saber o quão rentável era esse investimento, como mostrado pela Tabela 2.1.

Itens de análise	Resultado
VPL	R\$ 46.150,26
TIR	11%
<i>Payback</i>	3 anos

Tabela 2.1 - VPL, TIR e Payback

Fonte: (FERNANDES, 2022)

Como demonstrado pelos resultados, tanto o tempo de payback simples como o VPL e o TIR tem valores bastante favoráveis para a estratégia de trocas dos sistemas de ar-condicionado analisada pela autora, único ponto que não foi citado para o investimento, era o de taxa de desconto que foi utilizado. A autora destaca que enfrentou desafios consideráveis ao coletar os dados devido à falta de acesso a informações detalhadas sobre a planta. Isso a obrigou a basear muitas de suas considerações nos dados disponíveis. Por exemplo, a unidade de ar-condicionado presente era consideravelmente antiga, e o fabricante já não produzia mais o modelo, o que dificultou a obtenção de informações precisas sobre o aparelho. Além disso, a utilização da conta de energia do local não foi viável, uma vez que o consumo de energia estava agregado a todo o local, impossibilitando a determinação do consumo específico da área em análise. Esses obstáculos criaram desafios na análise, no entanto, mesmo com essas limitações, foi possível realizar um levantamento preliminar para avaliar a viabilidade econômica do projeto. De acordo com o estudo de (DA COSTA, 2019) foi realizado uma análise em um distrito comercial localizado em Manaus, onde o consumo de energia é

consideravelmente elevado. Um dos principais desafios identificados foi o consumo excessivo de energia durante o período de pico, que chegava a cerca de 16.000 kWh, sendo agravado pelo fato de as tarifas serem mais altas nesses momentos.

Para mitigar essa situação, a primeira medida adotada foi uma avaliação do fator de potência de todas as instalações, que se situava em torno de 0,7. Como resultado, foi realizada uma revisão completa do sistema de capacitores e identificadas possíveis perdas, visando elevar o fator de potência para pelo menos 0,92.

2.5 MERCADO LIVRE DE ENERGIA

No mercado de energia basicamente se tem duas formas de contratação, que seria pelo ACR (ambiente de contratação regulada) e ACL (Ambiente de contratação livre), para fazer parte da contratação regulada é bem simples, pois é o que basicamente o que se tem na área residencial comum, quando se trata do Brasil, para ser consumidor livre ou especial necessita cumprir alguns requisitos, como dito pelo site do (Mercado Livre de Energia Elétrica), para consumidores livres é necessário ter uma demanda que seja igual ou superior a 500 kW, e a energia pode ser comprada de qualquer fonte, já os consumidores especiais são consumidores ou um grupo que tem o mesmo CNPJ, precisa ser localizadas em áreas contígua, ou seja que esteja próximo, e nesse caso é necessário que a compra de energia seja de fontes incentivadas. Como vem acontecendo ao passar dos anos, para ser um consumidor livre, a demanda energética está abaixando, isso faz com que possivelmente no futuro todas as pessoas consigam em suas casas fazer a contratação em mercado livre, o que pode fazer com que o mercado fique ainda mais interessante para os consumidores e dos envolvidos no mercado de energia.

Na contratação regulada, segunda (SOUSA e TAKIGAWA, 2016) se tem uma revisão entre 4 e 5 anos, para discutir os gastos atuais, para o reajuste anual tarifário. Essa tarifa acompanha o índice da inflação, e pode ter reajuste extraordinário, então a qualquer momento pode ocorrer um reajuste por um evento inesperado que acaba afetando muito no equilíbrio financeiro.

Modalidades Tarifárias						
Grupo	Classe	Nível de Tensão	Convencional (S)	Verde (C)	Azul (D C)	Branca (D)
A	A1	230 kV ou mais	Impedidos	Impedidos	Compulsório	Impedidos
	A2	88 a 138 kV				
	A3	69 kV				
	A3a	30 a 44 kV		Disponível	Disponível	
	A4	2,3 a 25kV				
	AS	Sistema subterrâneo				
B	B	Menos de 2,3kV	Compulsório	Impedidos	Impedidos	Disponível (em 2018)

LEGENDA:
D → Sinal horário cobrado na Demanda **C** → Sinal horário cobrado no Consumo **S** → Sem cobrança de sinal horário

Tabela 2.2 - Mobilidade Tarifaria por Grupo

Fonte: (SOUSA e TAKIGAWA, 2016)

Como mostrado na Tabela 2.2, se tem as modalidades tarifárias, basicamente é dividido pelo nível de tensão, esse nível será correspondido por uma determinada classe, o que vai mudar a forma que é cobrada desses casos.

Segundo (FASOLO, 2011) para o faturamento do Grupo A, segue conforme a demanda de potência ativa, corresponde a maior demanda que foi contratada, também a demanda que é medida ou 10% da maior demanda que é medida de 11 ciclos completos de faturamentos anteriores, e caso aconteça da demanda contratada for menor que a consumida, esse consumidor precisa pagar a diferença. Como já dito para o grupo B é muito mais simples, se tem o preço de consumo medido que já vem expresso R\$/kWh, não se faz necessário contratar uma certa demanda.

Já no mercado livre acontece de forma diferente, pois é necessário se associar ao CCEE (câmara de comercialização de energia), e no caso quem entra nesse mercado. E existem alguns tipos de contratos, dentre eles se tem o contrato de compra de energia incentivada (CCEI), contrato de compra de energia no ambiente livre (CCEAL), contrato de energia reserva (CER), contrato de cessão. As vantagens dessa modalidade é a livre escolha pela contratação, isso faz com que o ambiente seja mais competitivo e que geralmente terá melhores preços,

há uma maior flexibilidade, mas em contrapartida se tem a desvantagem de ficar exposto ao PLD, ele basicamente é calculado a cada hora, logo tem variações ao longo do dia, também outro ponto é que está aberto a possíveis penalidades, e caso queira retornar ao ambiente regulado se tem um prazo mínimo de 5 anos.

2.6 EQUIPAMENTOS

As empresas no âmbito da indústria no geral têm maior gasto energético, geralmente pelas máquinas que são utilizadas, que acabam necessitando muita energia, esse é um dos pontos que fez com que a eficiência energética dos equipamentos no geral, necessitaram de melhoras em sua eficiência, começaram a ser categorizados para seu nível de eficiência, e o consumidor entender melhor pelo que estava sendo pago.

Os motores elétricos são grandes consumidores nas empresas, um ponto importante é referente ao fator de potência, pois no Brasil é necessário que seja sempre igual ou maior que 0,92 essa fator é importante para garantir que no sistema não tenha muitas perdas, e quando não é atendido, existe uma punição, com isso os fabricantes levam esse ponto a sério para atender as normas brasileiras, e como levantado pelo (ZANARDO, 2016), existem alguns formas de melhorar a eficiência energética, geralmente o inversor é um deles, pois como é possível fazer variações, como em um ventilador de um equipamento variar o giro por meio da sua frequência, entre outros parâmetros que podem tornar aquele equipamento ainda mais eficiente, ou então fazer o uso correto de capacitores, para determinadas aplicações é possível balancear a diferença de energia entre a fonte e a carga, então se tem redução de perdas pelo efeito *Joule*, também reduz a potência aparente.

Na questão sobre os equipamentos um ponto importante a ser observado é o tempo que já foi utilizado, pode ser que sua eficiência está muito abaixo do esperado, do que o fabricante consegue garantir quando adquirido. Analisar esse equipamento não necessita de um *retrofit*, ou até outro ponto importante, é fazer uma checagem de toda fiação elétrica, pode estar ocorrendo muitas perdas por ter um sistema antigo, ter possíveis aquecimento além do esperado, tudo isso faz com que o equipamento não funcione da forma que foi projetado, o que piora sua eficiência.

Uma análise importante é no equilíbrio das fases, pois por exemplo ligações trifásicas que sejam estrela, precisa saber se de fato todas as fases estão bem distribuídas, se todo sistema de aterramento está feito da forma correta, para não ter perigo de queimar quaisquer equipamentos. É possível se prevenir com utilização de dispositivos de proteção elétrica como disjuntores, proteção anti-surto, possíveis fugas de corrente, entre outros sistemas elétricos que garantem a funcionalidade.

Acima foi falado dos equipamentos em um âmbito geral, mas cada um deve ser pensado conforme suas características, sempre pensar no sistema como todo, por exemplo quando se fala de um compressor, para utilização de ar-comprimido, um ponto muito importante é sobre a tubulação colocada para ele, saber se foi bem dimensionada, se ao longo dela não há perdas significativas, ou possíveis vazamentos na linha. Outro ponto a ser observado, se da forma que está sendo utilizada atualmente está bem dimensionado, pode acontecer com o passar dos anos sua utilização mudou, e aquele sistema já não está mais bem dimensionado para utilização atual. Por isso é importante saber de cada equipamento da instalação, se tudo que foi feito para ele está correto e sendo utilizado corretamente.

2.7 FERRAMENTAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA

Conforme dito por (ZANARDO, 2016), o uso de KPI (*Key Performance Indicator*) auxilia na avaliação de desempenho, o que acaba auxiliando as grandes empresas, pois dessa forma é possível fazer medições, saber como tudo vem sendo direcionado e pontos que podem trazer melhorias, traçar estratégias em cima para necessidades identificadas.

Existem inúmeras forma de se utilizar esse tipo de ferramenta, pode ser para gestores saberem como tudo está sendo direcionado, procurar oportunidades em cima disso, pode também utilizar para avaliar desempenho com o tempo, e descobrir pontos a serem melhorados, onde estão os problemas dessa empresa.

Uma ferramenta também utilizada é a FCS (fatores críticos de sucesso), ela visa traçar os principais pontos para que seja possível chegar ao objetivo final, então ela faz com que tenha um bom planejamento seja feito antes da atividade, para que o sucesso seja alcançado no final, para isso é necessário ter muita atenção, fazer uma análise de risco crítica.

O processo de tomada de decisões é muito importante, pois somente a partir delas que é possível a tomada das ações, para isso também existem metodologias, como a de multicritério de apoio a decisão, se tem um processo para apoio em tomadas de decisão que se configura conforme abaixo:

- Identificar o problema e seu contexto, saber onde realmente é a raiz do problema.
- Fazer sua estruturação e sua modelagem, procurar pontos que não estão muito certos, quais que são os pontos chave.
- fazer uma análise criteriosa dos resultados obtidos, buscar entender todos os pontos de melhoria, o que foi feito de errado, onde precisa se estruturar melhor, basicamente um cálculo do desempenho.
- finalizar com um plano de ação sobre tudo que foi levantado, e buscar alternativas para solução de todos os problemas, já nessa fase considerar a melhor alternativa do que já foi levantado anteriormente.

3 DESENVOLVIMENTO – ESTUDO DE CASO

Inicialmente foi feita uma verificação de toda de uma fábrica de caldeiras, onde se tem área de montagem, testes, e sua área administrativa, conforme Figura 3.1.

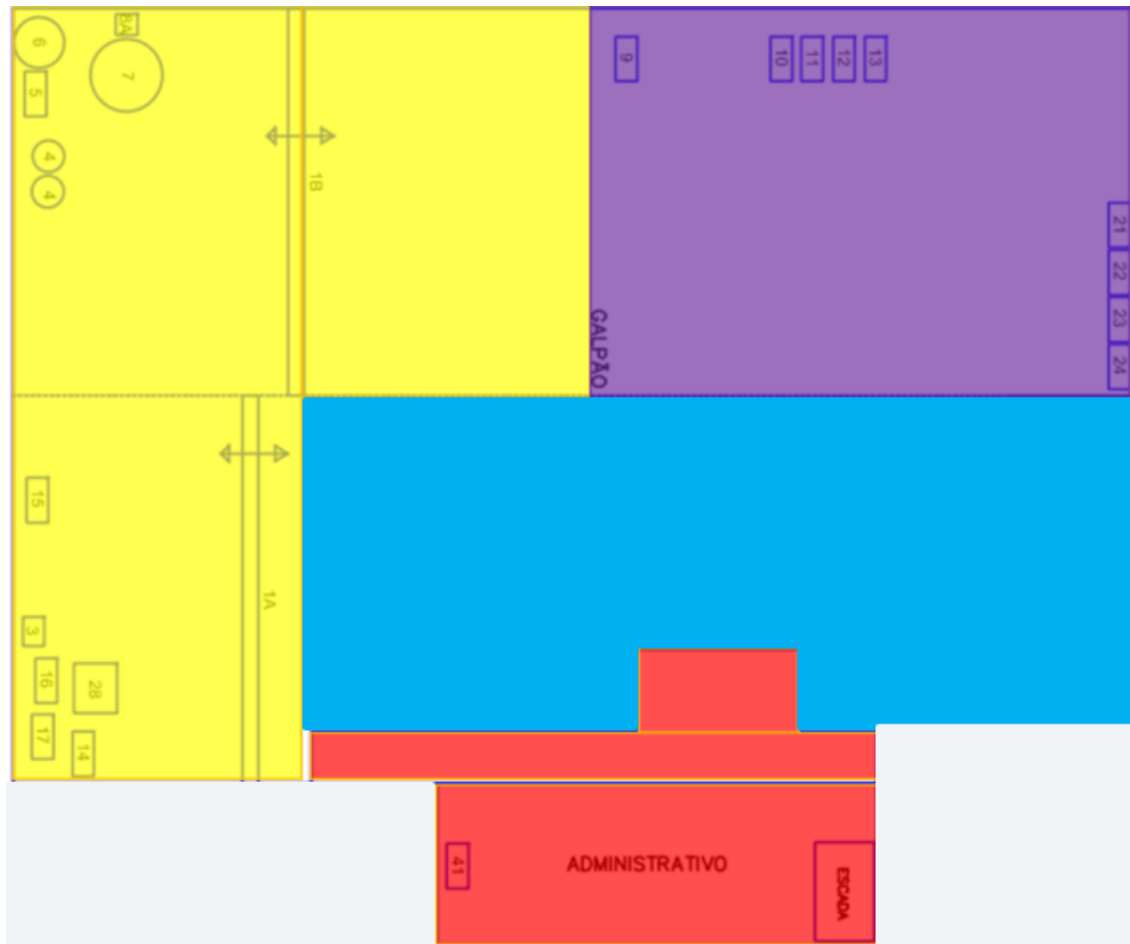


Figura 3.1 - Planta da Fábrica
Fonte: Jefferson Ormonde, 2023

Na Figura 3.1, é mostrado fábrica com a área administrativa pela vista superior, a área amarela é onde é feita a montagem do equipamento, e na área roxa são realizados os testes, e em vermelho fica todo o setor administrativo da fábrica, que será o foco do trabalho aqui apresentados, cujas características dessa área são:

- Área Construída: área amarela 780 m², área roxa 390 m², área vermelha 128 m² e área em azul 890 m² (valores aproximados).

- O setor administrativo tem 3 andares, sendo que o primeiro andar consiste em recepção, sala de reunião, banheiro e laboratório. No segundo andar temos um ambiente típico de escritório (mesas de trabalho e uma baia com sala de reunião), no terceiro andar somente mesas para trabalho.

3.1 UNIDADE CONSUMIDORA

O principal consumo de energia provém do processo produtivo da fábrica, que nesse caso são caldeiras a gás. Tanto na sua produção, quanto nos testes realizados nas caldeiras, existe um consumo alto de energia. Porém, no desenvolvimento do trabalho, não será explorado melhorias nessa área, pois todo esse processo não pode mudar em função de maior eficiência energética. Com isso o foco ficou na área administrativa.

O setor administrativo da empresa tem o seu uso de energia em iluminação, utilização de computadores, celulares e ar-condicionado, impressoras e bebedouros. Cada uma dessas unidades tem seu consumo, sendo alguns mais impactantes que outras, mas existe grande possibilidade de melhorias, torná-los mais eficientes, e utilizar de forma mais consciente.

3.1.1 SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

O sistema de climatização utilizado é o VRV da Daikin, conforme a Figura 3.2, localizado fora da sala do setor administrativo, em ambiente aberto.



Figura 3.2 - Unidade condensadora do VRV

Fonte: Autoria Própria

As especificações do ar-condicionado são:

- Marca Daikin (Modelo VRV III)
- Potência para refrigeração é de 5,24 kW (do compressor, para cada máquina).
- Capacidade com as duas condensadoras de refrigeração é de 153.600 Btu/h, que é igual a 45 kW/h.
- COP de 4,36.

Esse ar-condicionado tem capacidade de funcionar tanto para aquecimento quanto para resfriamento, mas deve-se ressaltar que no setor administrativo em dias que a temperatura é

baixa o sistema não é ligado, então a parte de aquecimento será desconsiderada para o estudo.

As unidades evaporadoras são do tipo cassete split, conforme a Figura 3.3, e ficam distribuídas conforme mostrado na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Unidades evaporadoras, no escritório

Fonte: Autoria Própria

Atualmente existe um problema encontrado na sala do servidor (CPD), que só tem um sistema de ar-condicionado. Caso haja alguma falha, não há sistema de *backup*. Isso impacta no trabalho das pessoas, mas feito pesquisas em campo no momento a empresa não tem interesse em ter um *backup* porque até hoje não teve um histórico de problemas com o servidor, por isso não será explorado nesse trabalho a melhoria dessa sala.

3.1.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

As lâmpadas utilizadas atualmente são fluorescentes, possuem as especificações abaixo:

- Branca Fria 6500K
- Corrente 96 mA
- FP > 0,92
- Potência de 20W

Como as lâmpadas atuais são fluorescentes, será feito a análise com a utilização de lâmpadas LED, na qual apresentam eficiência maior, e será seguido a mesma especificação das lâmpadas que já utilizada, pois foi assumido que o cálculo da necessidade de Lumens foi realizado em seu projeto, então segue a mesma especificação, somente a mudança por lâmpadas mais eficientes, foi seguido até o mesmo tamanho de lâmpada, pois caso faça sua troca, precise somente da troca de lâmpadas e não mudaria se quer a luminária.

Quando somado todas as lâmpadas dos três andares do administrativo, se tem um total de 95 lâmpadas, existe uma certa variação nos modelos de lâmpadas, mas todas são muito parecidas em questão de iluminação e consumo de energia, com isso será considerado somente um tipo de lâmpada para estudo.

A lâmpada LED estudada para troca, segue as especificações abaixo, dados que foram retirados do (Dimensional, 2023):

- Branca Fria 6500K
- Corrente 36 mA
- FP > 0,92
- Potência de 8W

3.1.3 ENVOLTÓRIA DO EDIFÍCIO

Na parte externa do prédio, todas as janelas são de vidro comum, onde praticamente toda radiação passa para dentro das salas, fazendo com que o consumo de energia do ar-condicionado aumente para atender as demandas de conforto térmico dentro do prédio.

Como mostrado na Figura 3.4 como exemplo do impacto de brises em edificações retirado do material do curso, o uso de brises promove uma redução considerável no calor que seria transferido para os ambientes de um edifício, nesse gráfico onde tem a análise de determinado local, a redução chegou a 44,7%, isso tem um efeito muito considerável na conta final de energia. Esses dados mostrados são provenientes de uma simulação realizada.

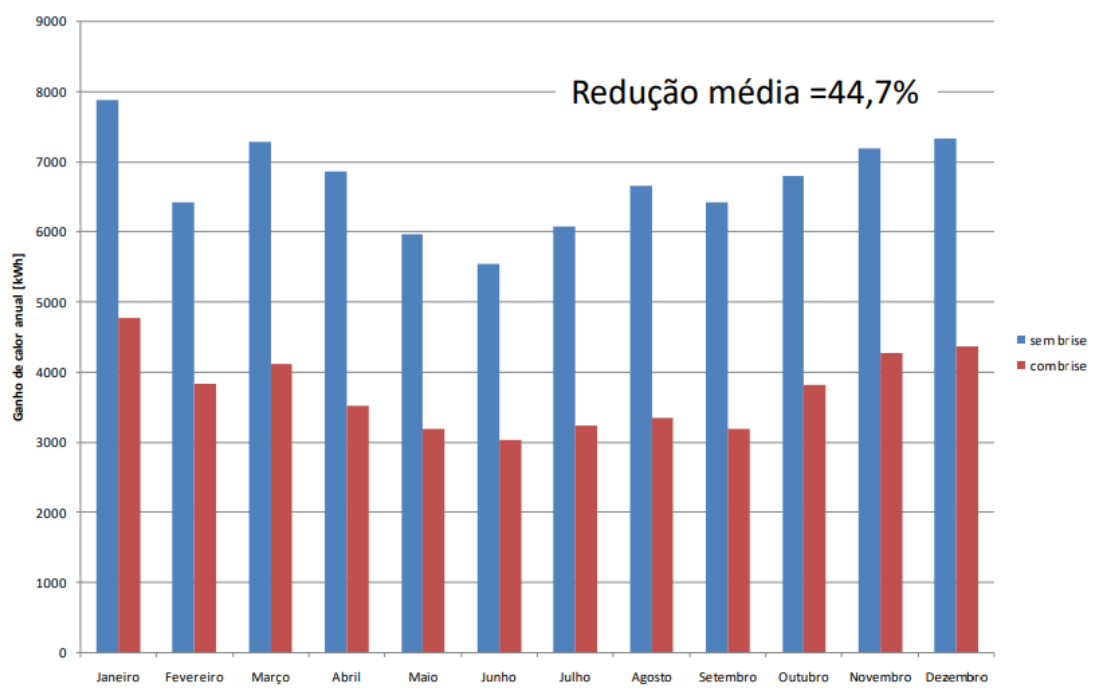


Figura 3.4 - Diferença entre utilizar e não utilizar brise

Fonte: Alberto Hernandez Neto

Como mostrado na Figura 3.5, na envoltória do prédio em estudo, tem uma parte em vidro, seu WWR (variação de porcentagem de área envidraçada) é em torno de 40%, então a utilização de brise deixaria o prédio ainda mais eficiente, pela incidência que se tem de luz durante o dia.

Para substituição do vidro, o principal componente a ser analisado é o fator solar, pois esse parâmetro basicamente indica o quanto de radiação solar está sendo passado para dentro da sala, por exemplo um vidro que tenha um fator solar de 0,7 isso significa que 70% da radiação solar atravessa as áreas envidraçadas.



Figura 3.5 - Envoltória do Prédio Administrativo

Fonte: Autoria Própria

Apesar de como já falado grande parte da envoltória ser de vidro, o ar-condicionado que é utilizado consegue suprir a demanda térmica das salas em que faz a refrigeração, e por

ser um equipamento novo, não faz sentido fazer uma troca por um que possivelmente seja mais eficiente, mas é possível diminuir a carga térmica atual, utilizando um vidro diferente, a utilização do brise, ou até mesmo películas especiais para esses vidros, pode ser viável e trazer uma economia ao local.

3.1.4 ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA

Inicialmente será realizado potencial de redução de consumo de energia para o sistema de iluminação em função da substituição das lâmpadas fluorescentes atuais por lâmpadas LED, segundo a Tabela 3.1.

Lâmpadas Atuais e Novas		
Quantidade	95	Lâmpadas
Horas de operação	9	horas/dia
Dias trabalhados (*)	21,25	dias/mês
Consumo de Energia Atual	20	W
	17,1	kWh
	363,4	kWh/mês
	4.360	kWh/ano
Consumo de Energia Avaliado com a mudança de lâmpadas	8	W
	6,84	kWh
	145,3	kWh/mês
	1.744	kWh/ano

(*) Para 255 dias trabalhados/ano, tem-se uma média de 21,25 dias trabalhados/mês

Tabela 3.1 - Análise do sistema de iluminação

Fonte: Autoria Própria

A substituição das lâmpadas resulta em uma considerável redução na fatura de energia ao longo de um ano, chegando a um total de 2.616 kWh/ano. Importante ressaltar que, apesar da redução no consumo de energia, a qualidade da iluminação permanecerá a mesma daquela instalada anteriormente. Para a avaliação do consumo de energia em equipamentos, foram utilizados dados da (NBR 16401-1, 2008) (vide Tabela 3.2). Um levantamento do tempo de operação foi realizado, com base em um uso moderado durante o dia, por meio de consulta às pessoas do escritório.

Equipamentos	Quantidade	Potência Elétrica	Potencia Total
Computadores	32	65 W	2080 W
Monitores	18	80 W	1440 W
Impressoras	2	400 W	800 W
Bebedouro	2	350 W	700 W
Horas de operação	9	horas/dia	
Dias trabalhados	21,25	dias/mês	
Consumo de energia total	960	kWh/mês	
	11.521	kWh/ano	

Tabela 3.2 – Levantamento do consumo de energia dos equipamentos elétricos do setor administrativo

Fonte: Autoria Própria

Após analisar os gastos energéticos relacionados aos equipamentos utilizados no escritório, observa-se que a única estratégia possível de redução de consumo de energia seria uma mudança de comportamento das pessoas, incentivando o desligamento dos computadores e monitores quando não estiverem em uso ou pelo uso da configuração do modo de economia de energia. Por último, foi analisado o consumo de energia do sistema de ar-condicionado, como mencionado anteriormente, o sistema é do tipo VRV, responsável por climatizar as áreas administrativas, exceto pela sala do servidor, que utiliza um sistema de ar-condicionado do tipo split.

Para determinar o consumo de energia do sistema de climatização, foram necessárias algumas considerações. Embora a potência nominal do equipamento tenha sido fornecida (representando a capacidade máxima de carga), é importante observar que esse sistema é do tipo inverter. Isso significa que a carga térmica entregue pelo sistema de AVAC varia de acordo com a demanda de resfriamento do ambiente. Em termos simples, o compressor ajusta seu funcionamento de acordo com a necessidade, resultando em variações no consumo de energia ao longo do tempo. Isso é influenciado por fatores como as condições climáticas, como dias mais quentes, bem como o uso de equipamentos eletrônicos e a presença de pessoas no local.

Vale ressaltar que não foi necessário realizar o cálculo da carga térmica para as áreas administrativas, pois o sistema foi dimensionado adequadamente, levando em consideração os sete anos de operação na fábrica e prevendo futuras expansões. Portanto, o dimensionamento do sistema de ar-condicionado não representa um problema.

No cálculo teórico realizado foi considerado que o ar-condicionado ao longo do dia trabalha em cerca de 70% da carga nominal, e foi considerado o split da sala de servidor, no qual já foi adicionado ao gasto energético do ar-condicionado no setor.

Foi levantado que mesmo após as pessoas saírem da empresa o ar-condicionado continua ligado, o que promove consumos desnecessários na Tabela 3.3, foi feito todo o cálculo teórico do consumo de energia do ar-condicionado, considerando as condições apresentadas.

Ar-Condicionado		
Capacidade de Resfriamento	153.600	BTU/h
	45	kW
Alimentação Elétrica	10	kW
Horas de operação	9	horas/dia
Dias trabalhados	21,25	dias/mês
Consumo de Energia Total	76	kWh
	1.620	kWh/mês
	19.439	kWh/ano

Tabela 3.3 - Ar-condicionado de todo Administrativo

Fonte: Autoria Própria

Logo após foram realizadas medições com o da HIOKI, que é um *logger*, conforme Figura 3.6. Foi levantado um perfil de consumo do ar-condicionado de todo o setor administrativo. Único problema é que foi possível realizar a medição em somente alguns dias (uma semana), por isso o perfil não corresponde exatamente o que se tem de gasto energético mês a mês. Pelo levantamento realizado, o consumo com o ar-condicionado está abaixo do esperado, chegando em potência média das duas condensadoras entre 2,5 kW e 2,7 kW, um pico de 10,64 kW, como falado em um momento em que não havia pessoas e a temperatura ambiente já era baixa também (menor que 20 graus). Então como teoricamente foi considerado uma carga a 70%, ficou superdimensionado, o que não há problema no cálculo que será realizado

a frente para utilização de placas solares para o prédio do administrativo, pois seu excesso seria utilizado pela própria fábrica.

Um ponto importante a se enfatizar, apesar de ter um pequeno consumo do ar-condicionado quando as pessoas estão fora da empresa, a carga é muito pequena, e adicionando ela a carga total, a utilização não chega a 60% em dias de calor. Então a parte teórica que foi levantada continua correta.

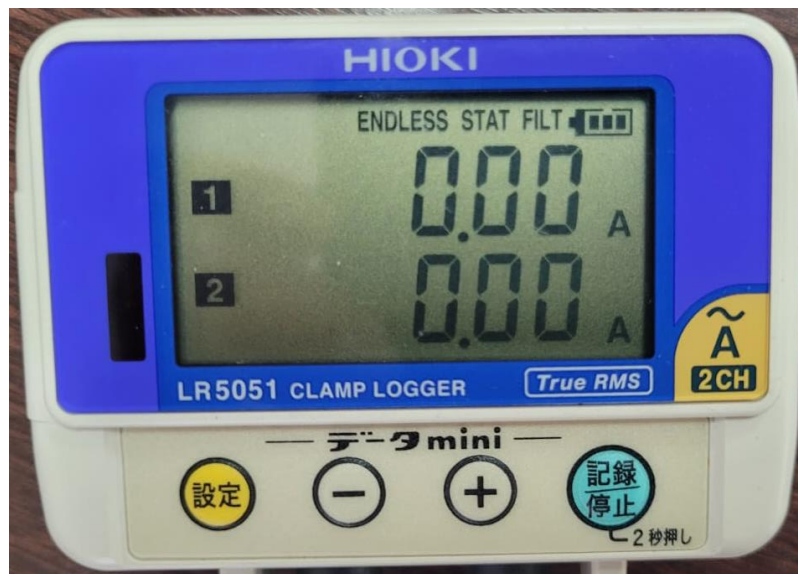


Figura 3.6 - Instrumento de Medição
Fonte: Autoria Própria

O instrumento mostrado na Figura 3.6 apresenta uma alta precisão, como mostra na figura duas casas decimais após a virgula, e faz gravações da corrente medida em sua memória. Após a captação dos dados em um tempo de uma semana, foi exportado por meio de um software da própria fabricante, e levantado o gasto energético das duas condensadoras. Após serem feitas as medições, foi verificado que as duas condensadoras têm um consumo muito similar, os gráficos apresentam o mesmo perfil, e praticamente o mesmo consumo, geralmente o que muda é na segunda casa decimal, e durante esses dias de gravação dos dados, foi possível fazer levantamento de dias frios e quentes.

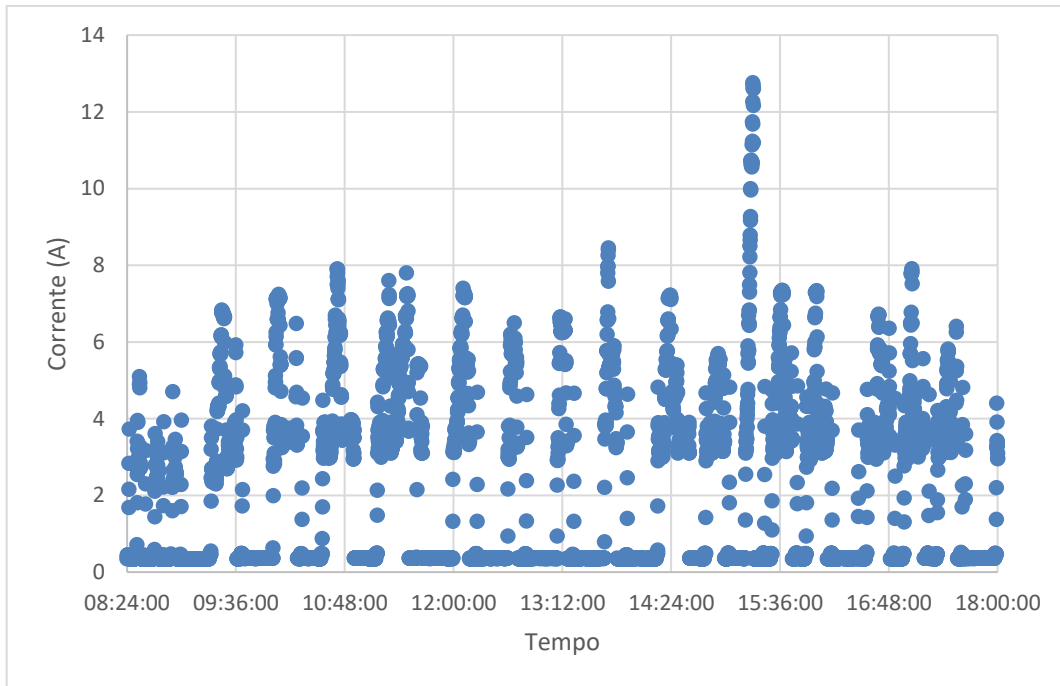


Figura 3.7 - Perfil de um dia frio no administrativo

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 3.7 corresponde a um frio, no qual fica visível pelo gráfico que há muitos momentos em que o compressor fica em carga mínima, e onde a temperatura externa em torno de 19°C. É possível verificar que em muitos pontos desse dia a corrente fica muito próximo de zero, pois houveram muitos momentos em que não havia necessidade de retirar a carga térmica do local, por isso o compressor não trabalha. E em uma média dos picos de energia, a corrente ficou em torno de 7A, em potência seria em torno de 2,7 kW, o que apresenta um consumo muito baixo das condensadoras.

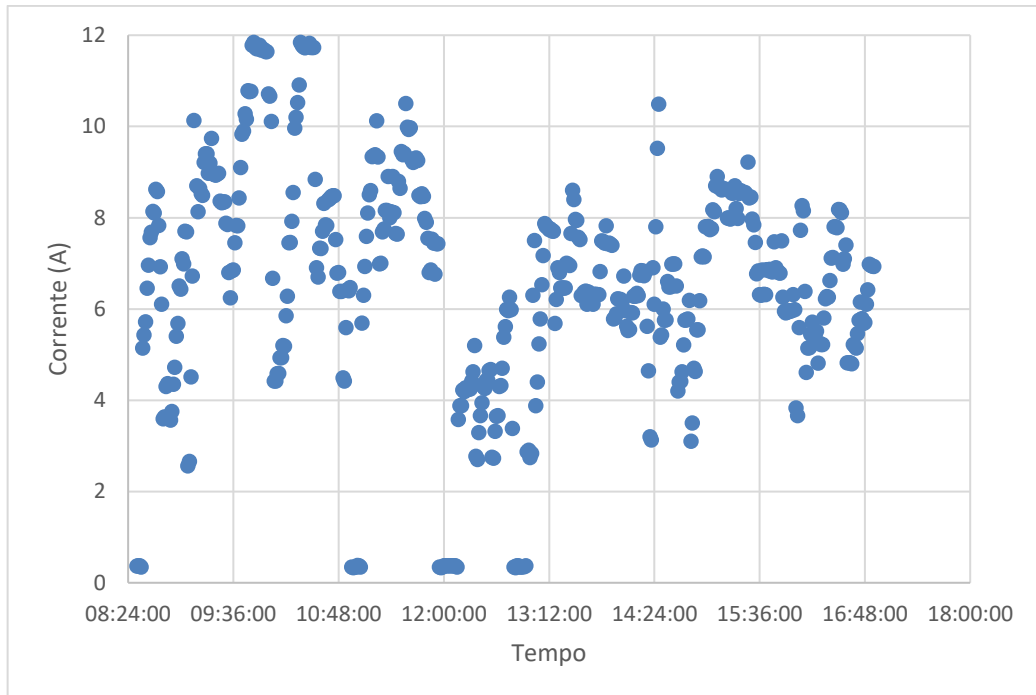


Figura 3.8 - Perfil de um dia quente no administrativo

Fonte: Autoria Própria

Na Figura 3.8 o perfil mostrado é tipicamente de um quente, cerca de 25°C a temperatura externa da fábrica. E esse perfil, fica evidente a diferença com a Figura 3.7, poucos pontos em carga mínima, e com uma média em torno de 10A, isso em potência seria em torno de 3,8 kW, um pouco maior quando comparado ao dia frio, mas ainda assim, a carga foi baixa pela capacidade do sistema.

Os gráficos apresentam muitas oscilações pois como já falado anteriormente esse sistema de ar-condicionado é do tipo inverter, então ele vai variando sua carga conforme necessidade.

Pelos gráficos apresentados se tem perfil de consumo diferente do mesmo local, apesar da amostragem não ser muito grande, nos outros dias em que foi realizada a coleta o perfil não mostrava tanta diferença entre um e outro. E esse é um dos principais pontos que faz com que não seja possível tirar conclusões com os dados coletados, e para ter parâmetros reais, necessitaria de um tempo maior de medições.

Não foi realizada essa mesma medição para os outros componentes porque houve uma dificuldade de ter o consumo separado da iluminação, gasto de equipamentos eletrônicos. Por isso foi somente realizado o levantamento baseado no consumo de cada componente, e tudo sendo dimensionado pelo mais crítico possível e de forma conservadora.

3.2 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Para o dimensionamento das placas solares no administrativo, será pelo consumo de ponta, pois mesmo que no administrativo não utilize tudo, parte pode ser consumido pela fábrica, fazendo com que mesmo que haja excedente, será utilizado pela própria empresa, com isso após ser levantado todo o gasto de energia durante um mês se tem a demanda em torno de 35 kWh.

Logo após o levantamento do gasto de energia do administrativo, foi utilizado o site do cresesb para ter a irradiação solar média de onde está localizada a fábrica, com isso foi obtido o resultado conforme a Tabela 3.4.

Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]																
Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
23,201° S	47,049° O	6,0	5,48	5,77	5,06	4,55	3,72	3,46	3,60	4,58	4,73	5,36	5,68	6,12	4,84	2,67

Tabela 3.4 - Irradiação Solar no local da fábrica
Fonte: (CRESESB, 2018)

Para o gerador fotovoltaico foi escolhido com as seguintes características:

- Potência: 550 Wp.
- Eficiência do módulo: 20,6%
- Fator de dimensionamento do inversor: 130%

Esse fator de dimensionamento do inversor é a relação entre a potência do inversor e a potência da placa fotovoltaica. Está sendo considerado que todo o sistema de fotovoltaico terá uma taxa de desempenho de 75%, a área necessária para essa implementação é de 128 m², como mostrado na Figura 3.9 é possível colocar todas as placas já considerando 1,5m

para manutenção, o telhado metálico que tem mais de 400m², fica ao lado do telhado do administrativo. Um ponto a ser ressaltado, as placas solares ficaram desse lado do telhado e nessa direção porque fica mais voltado ao norte, logo tem uma maior irradiação, e por consequência maior produção de energia.

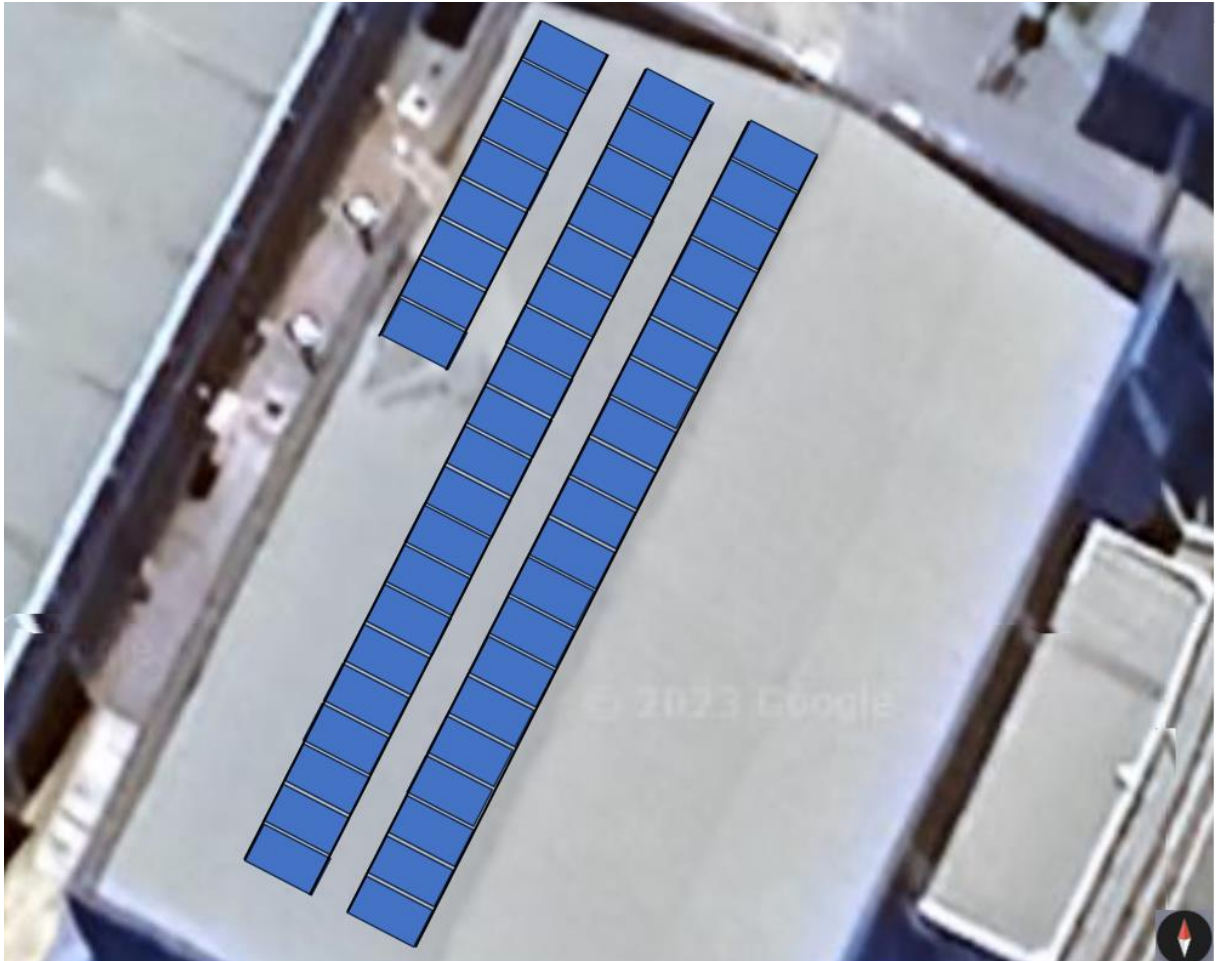


Figura 3.9 - Medição do telhado pelo google Earth

Fonte: Aatoria Própria

Na Tabela 3.6 é mostrado a potência instalada, tanto das placas solares quanto do inversor, área necessária para ser colocado, e por fim o número de módulos que serão necessários para suprir a demanda energética exigida.

Para realização dos cálculos foi utilizada a

Equação 3.1 - Potência instalada

$$Potência = \frac{Geração}{HSP * Taxa de Desempenho} \quad (3.1)$$

Onde, HSP = Hora de Sol Pico

Equação 3.2 - Número de placas solares

$$N^{\circ} \text{ placas} = \frac{Pot_{instalada}}{Pot_{módulo}} \quad (3.2)$$

Todos os cálculos realizados estão apresentados nas seguintes tabelas, onde a geração é a média de consumo de energia de cada mês, HSP referente a irradiação retirada do CRESESB, e a taxa de desempenho que foi considerada em 75% por perdas com poeira, ângulo e referência ao norte (onde seria o maior ponto de irradiação solar).

No número de placas foi utilizado a potência instalada, pela potência de cada módulo, com isso se tem o número de placas fotovoltaicas necessária

Além disso, foram levados em conta outros custos na análise, como mostrado na Tabela 3.5.

Taxa de Desempenho	75%
Reajuste anual da O&M	4,5%
% do Orçamento Final com O&M	5,0%
Reajuste Anual da Tarifa F.Ponta	10,00%
Reajuste anual da demanda	3,00%
Degradação do Módulo no 1º ano	2,50%
Degradação do Módulo após o 1º ano	0,70%

Tabela 3.5 - Custos de implementação de placa fotovoltaica

Fonte: Autoria Própria

Por fim foi possível chegar nos resultados abaixo

Potência Instalada (kWp)	26,400 kWp
Potência Instalada de Inversores (kW)	20,308 kW
Área necessária para instalação do gerador	128,2 m ²
Geração anual estimada	34.978,7 kWh
Relação Geração Consumo	99,04%
Número de Módulos	48

Tabela 3.6 - Potência e módulo fotovoltaicos

Fonte: Autoria Própria

O modelo da placa escolhida é o trina tsm-de15mii 410w tallmax 144 cel. mono perc half cell, e o inversor escolhido foi o solar sma sb5.0-1av-4 sunny boy 5kw, com 2 MPPT, e será utilizada uma *string* para cada 8 módulos.

Para o sistema dimensionado, teria um percentual de energia de retorno, mas como já falado anteriormente, não será necessário levar em conta esse retorno, pois até o excesso que seja produzido, será utilizado pela fábrica.

Para o sistema calculado, como mostrado na Tabela 3.6, será atendido 99% em relação a geração de consumo, praticamente todo o gasto de energia elétrica, poderá ser advinda da energia solar, com a utilização de 48 módulos.

3.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

3.3.1 PAYBACK

Segundo (PARENTE, 2022), o cálculo de simples (Equação 3.1) basicamente considera o investimento inicial realizado e a redução de custo da operação da estratégia analisada

$$\text{Equação 3.3 - Cálculo de Payback simples}$$

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Inicial}}{\text{Redução de custo de operação}} \quad (3.3)$$

Para esse tipo de cálculo se tem algumas vantagens, como:

- Cálculo intuitivo e rápido.
- Consegue considerar até certo ponto do fluxo de caixa.
- Se tem uma noção de risco no investimento a ser feito.

As desvantagens são:

- Não é possível saber por esse cálculo de fato o período que recupera o custo de oportunidade, pois não é considerado.
- Não é preciso, logo em muitos projetos acaba sendo uma medida desconsiderada.
- Não é considerado o tempo como um fator no valor do dinheiro
- Não é levado em conta o fluxo de caixa após o *payback*

Com isso esse cálculo que será realizado é bem simples, para ter uma noção de retorno para esse projeto.

3.3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O valor presente líquido é comumente mais utilizado pela indústria, essa seria uma técnica mais sofisticada para análise de investimentos, pois nela leva em conta mais fatores, que acabam impactando no valor final, nesse cálculo se leva em conta que o valor do dinheiro de hoje não será o mesmo do de amanhã.

Para o cálculo se tem a Equação 3.2:

Equação 3.4 - Cálculo de VPL

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - II_0 \quad (3.4)$$

Onde:

VPL: Valor presente líquido

FC: Fluxo de caixa

r: Taxa de retorno

t: Tempo

II₀: Investimento Inicial

Um ponto muito importante sobre o VPL é saber fazer a análise em cima dele para levar o projeto estudado a frente ou não, com isso quando seu valor é maior que zero, isso significa que o retorno será maior que do que retorno exigido, e se torna um projeto interessante a ser aprovado, quando igual a zero o retorno é igual ao retorno exigido, e quando menor que zero será menor que o exigido, podendo fazer com que o projeto não seja viável para sua execução, tudo vai depender do critério do projeto.

3.3.3 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

TIR é quando se tem a situação que o retorno é exatamente igual ao que foi exigido, isso significa que ocorre quando o VPL é igual a 0. Sendo assim é possível a utilização da fórmula do VPL, fazendo apensar algumas alterações, conforme Equação 3.3:

Equação 3.5 - Cálculo do TIR

$$VPL = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - II_0 \quad (3.5)$$

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = II_0 \quad (3.6)$$

O TIR em um projeto é analisado junto a taxa mínima de atratividade, e acaba seguindo a mesma lógica que se tem no VPL, caso o TIR seja maior que a taxa de atratividade significa que a taxa de retorno desse projeto é maior que a taxa de retorno mínima que foi exigida, quando igual a zero significa que chegou ao mesmo valor, e por fim quando menor é que esse projeto tem uma taxa de retorno menor do que foi exigido, inviabilizando esse projeto.

3.3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para iniciar a análise de viabilidade econômica, foram levantadas as contas de energia referente a um ano (2022/2023). Será utilizada os valores da tarifa no período de fora de ponta, pois o horário de operação do setor administrativo se restringe a este período do dia.

Com isso foi levantado um gráfico de tarifa fora de ponta por um ano, conforme a Figura 3.10.

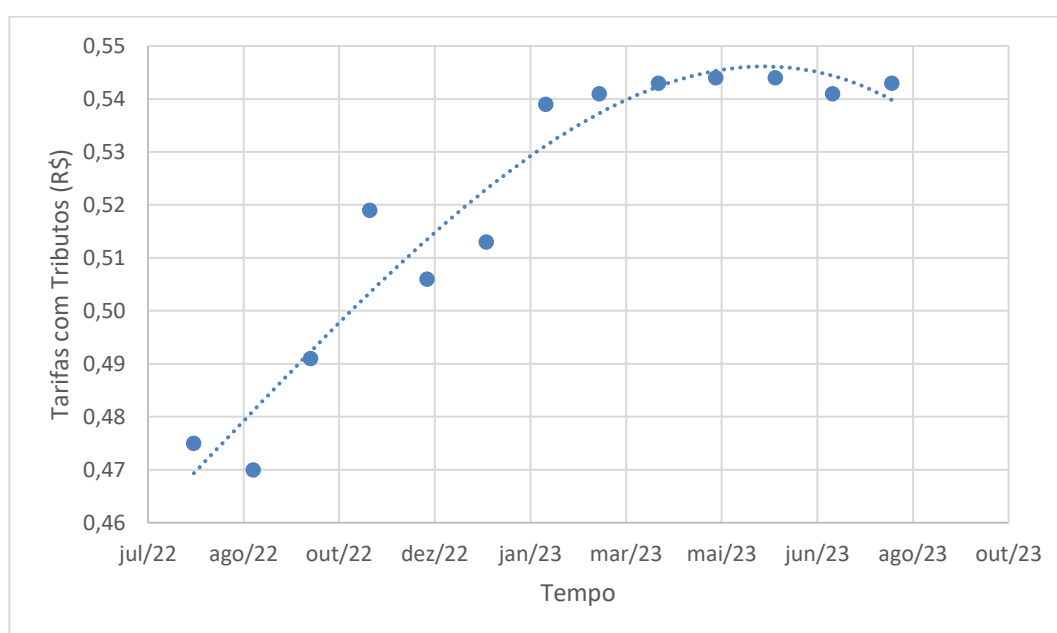


Figura 3.10 – Evolução da tarifa de energia elétrica com tributos em Reais ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

Com isso, para os cálculos subsequentes foi utilizado, uma média de tarifas com tributos ao longo do ano, chegando a um valor de R\$ 0,52 esse valor se refere a tarifa fora de ponta, a tarifa de ponta é de 0,65, mas para o cálculo não foi considerado, pois em horários de ponta a utilização de energia é desprezível, e para o cálculo do VPL e TIR, foi considerada uma taxa de desconto de 10% ao ano, esse valor é baseado na inflação, IPCA, entre outros fatores, no qual chega a um valor próximo aos 10% com isso foi possível obter os resultados na Tabela 3.7.

Taxa de Desconto	10%
Tarifa com Tributos (R\$)	0,52
Ano	Fluxo de Caixa
0	-R\$ 3.799,05
1	R\$ 1.362,29
2	R\$ 1.362,29
3	R\$ 1.362,29
4	R\$ 1.362,29
5	R\$ 1.362,29
6	R\$ 1.362,29
7	R\$ 1.362,29
8	R\$ 1.362,29
9	R\$ 1.362,29
10	R\$ 1.362,29
11	R\$ 1.362,29
12	R\$ 1.362,29
Payback	2 Anos e 10 meses
VLP	R\$ 5.483,16
TIR	35%

Tabela 3.7 - Cálculo de retorno financeiro pela troca de lâmpada

Fonte: Autoria Própria

Nessa troca de lâmpadas fluorescentes por LED, o valor de R\$ 3.799,05 é o investimento inicial necessário para aquisição das novas lâmpadas, fica claro nos cálculos efetuados, que o investimento trará um retorno rápido, como no *payback* de quase três anos, um VPL positivo, e a taxa de retorno de 35%, se mostrando atraente em questões de investimento. E apesar de ser colocado somente 12 anos, mas como é dito pelo próprio fabricante, esse tipo de lâmpada tem uma média de vida útil de 50 mil horas, logo pelo tempo de utilização na administração, seria maior que 15 anos, mas como o cálculo de consumo foi somente teórico e não tem medições, foi deixado ao longo de 12 anos, para que o valor seja mais conservador perante o cenário apresentado.

Já no ar-condicionado a troca de equipamento não traz melhorias significativas a empresa, pois o modelo de ar-condicionado que é utilizado é eficiente, apesar de já ter 7 anos sendo utilizado pela empresa, ele tem um COP alto, até comparado a sistemas mais atuais, e todas as manutenções preventivas vem sendo realizadas. Outro ponto é que por ser um VRV o sistema em si já tem, uma eficiência alta, caso se utilizasse múltiplos splits,

provavelmente a troca seria muito favorável. E como já dito anteriormente apesar de atualmente ter mais funcionários trabalhando, esse sistema estava dimensionado pensando nessa possível expansão, logo não existe esse problema na refrigeração. Único ponto a ser melhorado de fato, é que o modelo existente funciona tanto para resfriamento como aquecimento (fazendo com que ele seja mais caro), e no escritório é utilizado somente o resfriamento, então fica como um ponto de melhoria quando a sua troca for realmente necessária, e pensando em uma possibilidade do *retrofit*, acaba impossibilitando, pois como não há uma grande diferença na eficiência dos equipamentos, o seu retorno financeiro, passa de 10 anos, por isso para a empresa não faz sentido fazer um aporte muito alto, em um equipamento que não trará uma grande mudança na conta final de energia.

Na fábrica toda energia utilizada é fornecida pela concessionária, e após fazer o levantamento de toda energia utilizada pelo administrativo, uma das formas de suprir essa demanda é com a utilização de placas fotovoltaicas. O foco da aplicação das placas será apenas para o setor administrativo, pois na fábrica existe uma variação muito grande do consumo de energia, como mostrado na Figura 3.11.

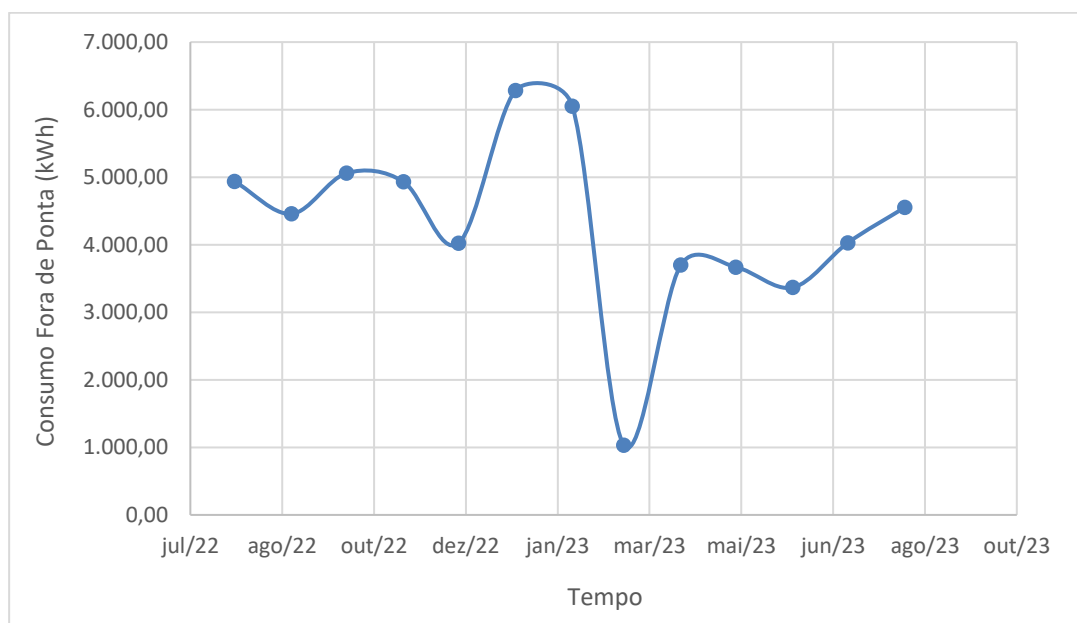


Figura 3.11 - Consumo de energia ao longo do tempo

Fonte: Autoria Própria

Como mostrado na Figura 3.11 a variação é muito alta durante um ano, e mesmo com uma amostra de tempo maior da fábrica, existe grande variação, o que dificulta no dimensionamento das placas solares.

Resultados		
Taxa de Desconto	10%	
Anos	VPL	TIR
25	R\$ 344.004,92	33,56%
20	R\$ 262.102,36	33,24%
15	R\$ 178.202,91	32,28%
10	R\$ 92.728,38	28,93%
5	R\$ 6.402,50	12,89%
Payback	3 anos e 8 meses	

Tabela 3.8 - Cálculo de retorno financeiro para um sistema fotovoltaico

Fonte: Autoria Própria

No cálculo financeiro para as placas fotovoltaicas, foi considerado que o custo total incorpora os custos de operação e manutenção (O&M) estimados em 5% como despesas fixas. Também foi levado em conta um reajuste anual de 4,5% e uma taxa de desconto de 10%.

4 CONCLUSÃO

Nesse trabalho foi possível explorar, formas de reduzir o consumo energético do setor administrativo de uma fábrica de caldeiras. Foi possível fazer um levantamento geral do consumo de energia de diversos usos finais, quais pontos não podem ser mudados, e quais tem oportunidade de melhorias, e por fim foram usadas ferramentas necessárias para avaliar o desempenho do sistema atual.

A substituição do sistema de iluminação foi analisada e a troca das lâmpadas fluorescentes atuais por lâmpadas LED promove uma economia anual de 2.616 kWh por ano, com um *payback* de 2 anos e 10 meses, VPL de R\$ 5.483,16 e a TIR de 35%, demonstrando que esta estratégia é viável do ponto de vista técnico e econômico.

Não foi possível avaliar as condições de operação do sistema de ar-condicionado atual. O sistema foi bem dimensionado e em função de estar funcionando a apenas 07 anos, a sua eficiência é alta não sendo adequada a sua troca no momento.

Nos dispositivos do escritório, como notebooks, monitores, bebedouros e outros equipamentos, não é viável realizar melhorias significativas em termos de eficiência energética, uma vez que são elementos essenciais para o desempenho das atividades diárias dos funcionários. No entanto, a inclusão desses gastos no cálculo foi fundamental para determinar as necessidades e dimensionamento das placas solares. Sugere-se uma ação de mudança de comportamento dos funcionários, incentivando o desligamento dos equipamentos quando não em uso ou usar o modo de economia de energia. Por fim, realizado o levantamento da utilização das placas fotovoltaicas, foi feito o seu dimensionamento para tender o setor administrativo.

No dimensionamento realizado, foram levantados todos os custos, como de placas, inversores, operação e manutenção. Dessa forma, avaliou-se que a fábrica possui área suficiente para instalação das placas fotovoltaicas. A análise econômica demonstrou que a implantação das placas fotovoltaicas é viável pois nos primeiros 5 anos o VPL de R\$ 6.402,50 e uma TIR de 12,89%, e em 25 anos o VPL de R\$ 344.004,92 e TIR de 33,56%.

Finalmente, o trabalho evidencia a existência de diversas áreas passíveis de melhoria, incluindo a implementação de medidas que podem gerar benefícios substanciais para a empresa, tanto em termos de eficiência energética como em termos financeiros. Os estudos conduzidos revelaram limitações relacionadas às medições, destacando assim a necessidade de futuras pesquisas que visem aprimorar a capacidade de medir individualmente todos os dispositivos e sistemas presentes no edifício, proporcionando uma avaliação mais precisa do consumo de energia.

5 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10520. **NBR 10520: Informação e documentação - Citações em documentos - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 7. 2002.

ABNT NBR 14724. **NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 11. 2011.

ABNT NBR 6023. **NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 74. 2018.

ABNT NBR 6024. **NBR 6024: Informação e documentação - Numeração progressiva das seções de um documento - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 8. 2012.

ABNT NBR 6027. **NBR 6027: Informação e documentação - Sumário - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 7. 2013.

ABNT NBR 6028. **NBR 6028: Informação e documentação - Resumo - Procedimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 2. 2003.

ABNT NBR 6034. **NBR 6034: Informação e documentação - Índice - Apresentação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 8. 2004.

ANEEL. GOV - Ministério de Minas e Energia. **GOV**, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/a-aneel>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CRESESB. Ministério de Minas e Energia. **Ministério de Minas e Energia**, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 26 out. 2023.

DA COSTA, T. G. S. S. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE UMA INDÚSTRIA DE BENS DE CONSUMO LOCALIZADA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE MANAUS. **UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**, Estado do Amazonas, Dezembro 2019. 56.

DE MORAIS, L. C. ESTUDO SOBRE O PANORAMA DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL E TENDÊNCIAS FUTURAS. **UNESP**, Bauru, 2015. 136.

DESCONHECIDO, A. Guia de Diagnóstico Energético Rede de Eficiência Energética. **Redee Indústrias**, São Paulo, 03 nov. 2020. 34.

DIMENSIONAL. **Dimensional a Sonepar Company**, 2023. Disponível em: <<https://www.dimensional.com.br>>. Acesso em: 18 out. 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 Demanda e Eficiência Energética. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2023.

EPE. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **EPE**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

FASOLO, A. R. PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL PRIORIZANDO O CONSUMO DESAGREGADO NO DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO. **UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**, Pato Branco, 2011. 43.

FERNANDES, L. M. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DO BLOCO M DO INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO CAMPUS VITÓRIA COM BASE NOS CRITÉRIOS DO PROCEL-EDIFICA. **INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**, Espírito Santo, 2022. 88.

JÚNIOR, ; DE SOUZA, C. C. Aproveitamento fotovoltaico, análise comparativa entre Brasil e Alemanha, Campo Grande - MS, 2020.

LUCIETTO, J. Diagnóstico energético em uma indústria de embalagens plásticas: Estudo de caso. **Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**, Campo Grande - Mato Grosso do Sul, 2016. 115.

MENKES, M. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE. **Universidade de Brasília**, Brasília, 2004. 293.

MERCADO Livre de Energia Elétrica. **Site do Mercado Livre de Energia**. Disponível em: <<https://www.mercadolivredeenergia.com.br/>>. Acesso em: 05 set. 2023.

MINISTÉRIO de Minas e Energia. **Ministério de Minas e Energia**. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/institucional/o-ministerio>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

NBR 16401-1. **ABNT**, 2008.

PARENTE, V. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE ENERGIA**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 40. 2022.

PLANO Nacional de Energia 2030. **Empresa de Pesquisa Energética**, Rio de Janeiro, 2007.

RELLA, R. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL. **Revista de Iniciação Científica**, Santa Catarina, 2017.

ROCHA, L. R. R.; MONTEIRO, M. A. G. Gestão Energética. **Procel**, Rio de Janeiro, 2005.

SOUSA, R. J. S. M. A.; TAKIGAWA, F. Y. K. GUIA BÁSICO DE INFORMAÇÕES DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA O CONSUMIDOR, Florianópolis, 2016. 8.

ZANARDO, R. P. Modelo de diagnóstico energético com base em um sistema de avaliação de desempenho. **Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, 2016. 164.